

Научная статья

УДК 543.068.8:543.68:69.059.22

## ХИМИЧЕСКИЕ ОСНОВЫ РАЗРУШЕНИЯ БЕТОННЫХ И ЖЕЛЕЗОБЕТОННЫХ КОНСТРУКЦИЙ МОСТОВЫХ СООРУЖЕНИЙ

**Иван Анатольевич Кононов<sup>1</sup>, Георгий Константинович Колногоров<sup>2</sup>,  
Дмитрий Валентинович Демидов<sup>3</sup>**

<sup>1, 2, 3</sup> Уральский государственный лесотехнический университет,  
Екатеринбург, Россия

<sup>1</sup> mol0doyivasha@gmail.com

<sup>2</sup> gkk66@mail.ru

<sup>3</sup> demidovdv@m.usfeu.ru

**Аннотация.** В статье представлены химические основы разрушения бетонных и железобетонных конструкций мостовых сооружений агрессивным воздействием воды (карбонизация) и солей (коррозия).

**Ключевые слова:** бетон, железобетон, карбонизация, коррозия, мостовое сооружение

Scientific article

## CHEMICAL BASES OF DESTRUCTION OF CONCRETE AND REINFORCED CONCRETE STRUCTURES OF BRIDGES

**Ivan A. Kononov<sup>1</sup>, Georgy K. Kolnogorov<sup>2</sup>, Dmitry V. Demidov<sup>3</sup>**

<sup>1, 2, 3</sup> Ural State Forest Engineering University, Yekaterinburg, Russia

<sup>1</sup> mol0doyivasha@gmail.com

<sup>2</sup> gkk66@mail.ru

<sup>3</sup> demidovdv@m.usfeu.ru

**Abstract.** The article presents the chemical bases of the destruction of concrete and reinforced concrete structures of bridge structures by the aggressive action of water (carbonization) and salts (corrosion).

**Keywords:** concrete, reinforced concrete, carbonization, corrosion, bridge building

Статьей 7 Федерального закона «Технический регламент о безопасности зданий и сооружений» предусмотрены требования механической безопасности: «Строительные конструкции ... должны обладать такой прочностью

и устойчивостью, чтобы в процессе строительства и эксплуатации не возникало угрозы причинения вреда жизни или здоровью людей, имуществу ... в результате: 1) разрушения отдельных несущих строительных конструкций или их частей; 2) разрушения всего ... сооружения или их части ...» [1].

Разрушение – макроскопическое нарушение сплошности материала в результате тех или иных воздействий на него (рис. 1). Различают начальное разрушение с образованием и развитием пор и трещин, а также полное разрушение с разделением тела на две (или более) части [2].

При этом применительно к бетонным и железобетонным конструкциям мостовых сооружений химические разрушения являются следствием агрессивного воздействия воды (карбонизация) и солей (коррозия).



Рис. 1. Примеры разрушений бетонных и железобетонных конструкций автомобильного моста: трещины на промежуточных опорах (а); разрушение консольных тротуарных блоков (б); разрушение бетона лестничных сходов (в)

*Агрессивное действие воды.* Бетон – материал, имеющий капиллярно-пористую структуру, поэтому отлично впитывает воду.

Проникая в конструкции снизу, грунтовая вода, мигрируя по капиллярам, увлажняет их, провоцируя процессы замораживания-оттаивания (температурные расширения-сжатия) и последующую деструкцию материала. Кроме того, грунтовая вода содержит примеси растворимых солей: хлоридов, сульфатов и гидрокарбонатов щелочных и щелочноземельных металлов. Кристаллизуясь и гидратируясь в порах, соли многократно увеличиваются в объеме, что приводит к разрушению бетона и железобетона.

Действие грунтовой воды характерно для лестничных сходов, телескопических лотков, гасителей, плит конусов.

Воздействие воды в виде атмосферных осадков, помимо механических разрушений вследствие замораживания, имеет еще и химические последствия, поскольку дождевая вода – это раствор. Дождевые потоки захватывают из атмосферы большое количество газообразных производственных выбросов, таких как оксиды углерода, серы, азота и фосфора, аммиак, хлор и хлористый водород. Газы, растворяясь частично в воде, превращают дождь в кислотный раствор, разрушающе действующий на бетон, мрамор, известняк и другие материалы. При этом увеличивается количество пор, капилляров и микротрещин, являющихся все новыми очагами агрессии, и степень разрушения материала существенно возрастает.

Поэтому повышенные требования к водонепроницаемости бетона предъявляются не только для обеспечения герметичности, но и для повышения долговечности бетонных и железобетонных изделий.

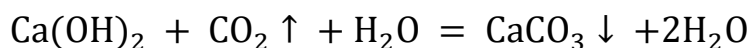
Водонепроницаемость бетона зависит от организации водоотвода и эффективности работы гидроизоляции строительного сооружения.

*Карбонизация бетона.* Карбонизацией называется взаимодействие различных фаз жизни цементного камня с углекислым газом  $\text{CO}_2$ . Будучи пористым, бетон хорошо впитывает углекислый газ, кислород и влагу, присутствующие в атмосфере. Образующиеся при этом карбонат кальция  $\text{CaCO}_3$  и другие продукты реакции приводят к изменению структуры самого цементного камня и уменьшению показателя pH раствора в порах бетона [3, 4].

Способность бетона впитывать воду оказывает пагубное воздействие на арматуру. Находящиеся в атмосфере земли кислотообразующие газы (двуокись углерода  $\text{CO}_2$  и двуокись серы  $\text{SO}_2$ ) стремятся в присутствии влаги нейтрализовать эту высокощелочную среду. Тем самым ослабляется ее защитное действие на сталь, и при воздействии влаги воздуха и кислорода находящаяся в бетоне сталь начинает интенсивно корродировать.

Химический процесс карбонизации состоит из целого ряда промежуточных этапов, поэтому рассмотрим этапы карбонизации (таблица).

Процесс карбонизации в общем виде:

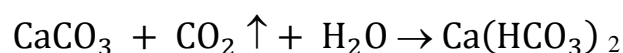


Этапы карбонизации бетона

Наименование этапа	Описание	Примечание
1. Диффузия $\text{CO}_2\uparrow$ через капиллярные поры бетона	Происходит проникновение молекул $\text{CO}_2\uparrow$ (размер молекул 0,23 нм) через капиллярные поры бетона (размер пор более 10 нм). Одновременно происходит растворение кристаллического кальция $\text{Ca}(\text{OH})_2$ в поровой жидкости и его диссоциация с разделением на ионы: $\text{Ca}(\text{OH})_2 \rightarrow \text{Ca}^{2+} + 2\text{OH}^{2-}$	Пористость бетона зависит от минералогического состава исходной породы применяемого щебня. Поэтому для тяжелого бетона должен применяться щебень, полученный из плотных горных пород
2. Реакция и растворение $\text{CO}_2\uparrow$ в щелочной поровой жидкости	При взаимодействии $\text{CO}_2\uparrow$ с водой, содержащейся в поровой структуре бетона, образуется угольная кислота, которая диссоциирует на ионы: $\text{CO}_2\uparrow + \text{H}_2\text{O} = \text{H}_2\text{CO}_3 \rightarrow 2\text{H}^+ + \text{CO}_3^{2-}$	
3. Нейтрализация $\text{Ca}(\text{OH})_2$ угольной кислотой $\text{H}_2\text{CO}_3$	$\text{Ca}(\text{OH})_2 + \text{H}_2\text{CO}_3 = \text{CaCO}_3\downarrow + 2\text{H}_2\text{O}$ Получаемый в результате реакции карбонат кальция $\text{CaCO}_3\downarrow$ выпадает в осадок, т. е. почти нерастворим	

Водородный показатель поровой жидкости  $\text{pH} = 12,6$  для первоначального вещества  $\text{Ca}(\text{OH})_2$  снижается до  $\text{pH} < 9$  для  $\text{CaCO}_3\downarrow$  за счет разбавления получающейся в результате реакции водой. При этом нарушается защитное действие на сталь, а воздействие поровой жидкости и кислорода приводит к коррозии арматурной стали в бетоне. Образующиеся продукты коррозии стали приводят к растрескиванию бетона вокруг арматуры.

Основной фактор растворения карбонатных пород, включающих карбонат кальция  $\text{CaCO}_3$ , – наличие в природной воде углекислого газа:



Происходит образование кислой соли – гидрокарбоната кальция.

Качественный анализ бетона (экспресс-метод) с использованием индикатора фенолфталеина (1 %-ный раствор фенолфталеина в 70 %-м спирте) предназначен для определения измерения  $\text{pH}$ -показателя: цвет в среде с  $\text{pH} > 9$  изменяется от бесцветного до фиолетового (рис. 2).



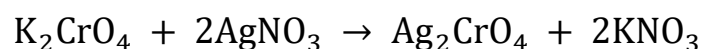
Рис. 2. Качественный анализ бетона на карбонизацию (индикатор–фенолфталеин)

*Агрессивное действие солей (хлоридов).* Хлористые соли ( $\text{NaCl}$ ,  $\text{CaCl}_2$ ,  $\text{MgCl}_2$ ) могут попасть вглубь бетона за счет использования компонентов бетонной смеси (песка, камня, воды, ускорителей твердения и пластификаторов и т. д.) или за счет проникания солей хлора из воды и тумана. Кроме того, в зимнее время автомобильные дороги посыпают солями для растапливания наледей, поэтому хлориды заносятся протекторами шин автомобилей на ездовое полотно мостов.

При повышении концентрации хлорид-ионов в порах бетона, окружающего стержни арматурной стали, до предельного значения происходит проникновение хлорид-ионов в пленку арматуры. Соединяясь с ионами железа, хлорид-ионы образуют композицию (зеленая ржавчина), которая, в свою очередь, соединяясь с веществами, содержащими кислород, приводит к образованию гидроксидов (бурая ржавчина), освобождению большого количества хлорид-ионов и формированию железа в зоне анода с валентностью два и более. Установлено, что с увеличением механических напряжений скорость проникновения ионов хлора повышается.

Таким образом, хлористые соли играют роль катализаторов коррозии арматурных сталей и не входят в состав продуктов коррозии.

Качественный анализ бетона на обнаружение хлорид-ионов проводится по следующей реакции [5]:



В результате реакции происходит образование  $\text{Ag}_2\text{CrO}_4$  красного цвета. При наличии в структуре бетона ионов хлора  $\text{Cl}^-$  окрашивания не происходит.

#### *Список источников*

1. Технический регламент о безопасности зданий и сооружений : Федеральный закон Российской Федерации от 30 декабря 2009 г. № 384-ФЗ // КонсультантПлюс : [сайт]. – URL: [http://www.consultant.ru/document/cons\\_doc\\_LAW\\_95720/](http://www.consultant.ru/document/cons_doc_LAW_95720/) (дата обращения: 06.10.2022).
2. Политехнический словарь / под ред. академика А. Ю. Ишлинского. – Москва : Советская энциклопедия, 1980. – 656 с.
3. Химический энциклопедический словарь / под ред. И. Л. Кнунянц. – Москва : Советская энциклопедия, 1983. – 792 с.
4. Войлоков, И. А. Карбонизация бетона / И. А. Войлоков // Бетоны и сухие смеси. – 2007. – № 18/Б. – С. 5 – 7.
5. Бетгер, Вильгельм Карл. Основы качественного анализа / Вильгельм Карл Бетгер ; пер. с нем. А. Х. Борка ; с дополн. автора для русского издания ; под ред. акад. В. С. Гулевича и проф. А. В. Раковского. – 3-е изд., стер. – Москва ; Ленинград : Гос. хим.-технол. изд-во, 1932. – 611 с.